



УДК 622.251:624.151
https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-1-45-56

Научная статья



Напряженно-деформированное состояние усиленного грунтового массива и крепи устья вертикального ствола во взаимодействии с фундаментами надшахтного здания

А. Ю. Прокопов , В. Ф. Акопян , Р. Ю. Шевченко

Донской государственный технический университет, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1
prokopov72@rambler.ru

Аннотация

Введение. Разработка месторождений полезных ископаемых связана со строительством сложных технологических комплексов на поверхности, обеспечивающих связь подземных работ с надземными системами. При строительстве зданий и сооружений надземных технологических комплексов горнодобывающих предприятий возникают как проблемы, связанные со сложными инженерно-геологическими и гидрогеологическими условиями, так и сложности, вызванные наличием комплекса подземных выработок (добычных, транспортных, вентиляционных, вспомогательных), оказывающих влияние на строительство и эксплуатацию объектов поверхности. В настоящей статье выполнено исследование напряженно-деформированного состояния (НДС) сложной системы, включающей надшахтное здание, устье вертикального шахтного ствола с вентиляционным каналом в условиях, осложненных наличием просадочных грунтов и необходимостью их усиления.

Материалы и методы. В исследовании применялись: анализ существующих методов усиления грунтовых оснований применительно к конкретным инженерно-геологическим условиям строительства с учетом взаимного влияния наземных и подземных сооружений; математическое моделирование системы «устье вертикального ствола с вентиляционным каналом — просадочный грунтовый массив, усиленный грунтовыми сваями – фундаменты надшахтного здания»; изучение на моделях особенностей НДС, определение основных факторов, влияющих на проектные решения по усилению грунтового основания и фундаментов здания, воспринимающих сложный комплекс эксплуатационных нагрузок.

Результаты исследования. Установлено, что наземные несущие конструкции, фундаменты и грунтовое основание должны рассчитываться с учетом взаимного влияния с вертикальным стволом и примыкающим к нему вентиляционным каналом, исходя из определения параметров НДС. Монолитная бетонная крепь устья оказывает существенное влияние на НДС фундаментной плиты, повышая жесткость в местах контакта плиты с крепью. Минимальная вертикальная осадка плиты наблюдается над крепью устья ствола, максимальная – в центральной части здания, в местах приложения максимальной нагрузки.

Обсуждение и заключения. Сформулированы результаты исследования НДС усиленного грунтового массива и крепи устья вертикального ствола во взаимодействии с фундаментами надшахтного здания и даны рекомендации по учету влияющих факторов при проектировании таких объектов.

Ключевые слова: вертикальный шахтный ствол, вентиляционный канал, надшахтное здание, просадочные грунты, усиление грунтов, грунтовые сваи, фундаменты, математическое моделирование.

Для цитирования. Прокопов, А. Ю. Напряженно-деформированное состояние усиленного грунтового массива и крепи устья вертикального ствола во взаимодействии с фундаментами надшахтного здания / А. Ю. Прокопов,

В. Ф. Акопян, Р. Ю. Шевченко // Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий. — 2022. — Т. 1, № 1. — С. 45–56. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-1-45-56

Original article

Interaction of Stress-Strain State of the Reinforced Soil Mass and Vertical Shaft Mouth Lining with the Mine Surface Building's Foundations

Albert Yu. Prokopov ✉, **Vladimir F. Akopyan** , **Roman Yu. Shevchenko**

Don State Technical University, Gagarina sq. 1, Rostov-on-Don, Russian Federation
✉ prokopov72@rambler.ru

Abstract

Introduction. The mining of mineral deposits is related to the construction of sophisticated technological complexes on the surface being a liaison between underground operations and above-ground systems. During construction of the mining companies' buildings and structures of the above-ground technological complexes there arise problems related to the complicated engineering, geological and hydrogeological conditions, as well as emerge difficulties caused by the presence of underground workings (mining, transport, ventilation, auxiliary) affecting the construction and operation of surface facilities. In this article a study was made of the stress-strain state (SSS) of a complex system comprising a mine surface building, a vertical shaft mouth with a ventilation duct under conditions complicated by the presence of subsiding soils and the need of reinforcement thereof.

Materials and methods. In the study there were used: the analysis of existing methods of soil bases reinforcement as applied to the specific engineering and geological conditions of construction, subject to the interdependence of above-ground and underground structures; the mathematical modeling of the system "a vertical shaft mouth with a ventilation duct - a subsiding soil mass reinforced with soil piles - a mine surface building's foundations"; the study of SSS features on models, determination of the main factors affecting the design decisions on enforcement of soil bases and building foundations receiving a compound combination of operational loads.

Results. It has been found that the above-ground loadbearing structures, foundations and soil bases should be calculated taking into account the interdependence with the vertical shaft and the adjacent ventilation duct, based on the SSS parameters definition. The monolithic concrete mouth lining has a significant impact on the SSS of the foundation slab, increasing rigidity at the points of contact between the slab and the lining. The minimum vertical settlement of the slab is observed above the shaft mouth lining, the maximum - in the central part of the building, in the points of maximum load application.

Discussion and Conclusions. The results of the stress-strain state study of a reinforced soil mass and a vertical shaft mouth lining in interaction with the mine surface building's foundations are formulated, and recommendations are given on considering the affecting factors when designing such facilities.

Keywords: vertical mine shaft, ventilation duct, mine surface building, subsiding soils, soil reinforcement, soil piles, foundations, mathematical modeling.

For citation. A. Yu. Prokopov, V. F. Akopyan, R. Yu. Shevchenko. Interaction of Stress-Strain State of the Reinforced Soil Mass and Vertical Shaft Mouth Lining with the Mine Surface Building's Foundations. Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning, 2022, vol. 1, no. 1, pp. 45–56. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-1-45-56

Введение. Вертикальные стволы горнодобывающих предприятий являются наиболее сложными и ответственными выработками, срок эксплуатации которых равен сроку службы шахты или рудника. Стволы сооружаются и эксплуатируются в комплексе с надземными зданиями и сооружениями, фундаменты оказывают дополнительную нагрузку на крепь. Проектирование, сооружение и эксплуатация вертикальных стволов должны рассматриваться с учетом комплексного взаимодействия с объектами шахтной поверхности, попадающими в зону влияния на крепь устья ствола. Эксплуатация надшахтных зданий часто усложняется неблагоприятными инженерно-геологическими и гидрогеологическими условиями, обусловленными наличием просадочных, набухающих и других структурно неустойчивых грунтов. В таких условиях необходим комплекс мероприятий по усилению грунтов оснований, что влияет на изменение напряженно-деформированного состояния (НДС) породного массива, а также крепи устья вертикального ствола и примыкающих к нему вентиляционного канала и вспомогательных технологических сооружений. В настоящей статье рассмотрен пример математического моделирования просадочного породного массива, усиленного грунтовыми сваями, который вмещает крепь устья главного шахтного ствола с вентиляционным каналом, во взаимодействии с фундаментами и несущими конструкциями каркасного надшахтного здания. В результате моделирования доказано, что деформационные свойства усиленного породного массива и его ослабление вертикальным стволом и вентиляционным каналом оказывают существенное влияние на возникновение неравномерных вертикальных и горизонтальных деформаций несущих конструкций надшахтного здания.

Вертикальные стволы горнодобывающих предприятий являются капитальными выработками с большим сроком службы, от их технического состояния во многом зависит надежность и безопасность работы шахтного подъема и общешахтных систем. Основными элементами конструкций вертикальных стволов являются крепь и армировка, которые проектируются в зависимости от инженерно-геологических, гидрогеологических условий и эксплуатационных нагрузок от движущихся подъемных сосудов (скипов, клетей) и противовесов.

Значительный вклад в разработку методов проектирования, строительства и эксплуатации вертикальных стволов шахт и рудников внесли ученые Булычев Н. С. [1, 2], Ягодкин Ф. И. [3, 4], Сыркин П. С., Страданченко С. Г. [5], Плешко М. С. [3, 4, 6–9], Козел А. М., Борщевский С. В. [10], Савин И. И. [11], Манец И. Г., Масленников С. А. [5] и др.

Строительство устьев вертикальных стволов, зданий и сооружений поверхностных комплексов шахт и рудников может осложняться наличием неблагоприятных инженерно-геологических условий, обусловленных наличием в основании фундаментов структурно неустойчивых, прежде всего, просадочных грунтов. Такие инженерно-геологические условия характерны для территорий Донбасса, Кузбасса, рудных месторождений Забайкалья, Северного Кавказа и др. Основной проблемой проектирования, строительства и эксплуатации зданий и сооружений поверхностных комплексов стволов в таких условиях является наличие в основании фундаментов толщи просадочных грунтов, относящихся к структурно неустойчивым, т.е. изменяющим свои деформационные свойства в зависимости от влажности и других факторов. При строительстве зданий и сооружений на таких грунтах, в случае природного или техногенного подтопления, возникают неравномерные деформации грунтового основания, вызывающие повышенные напряжения в несущих конструкциях зданий, что может привести к возникновению в них дефектов (трещин, разрушений отдельных элементов) и деформаций (кренов, перекосов, сдвигов и др.).

Фундаментальным исследованиям свойств лёссовых просадочных грунтов, их микроструктур, выдвижению гипотез образования и изучению проблем строительства на них зданий и сооружений посвящены научные труды Сергеева Е. М., Трофимова В. Т., Ананьева В. П., Осипова В. И., Соколова В. Н. и др.

Известны результаты прикладных исследований, посвященных изучению влияния просадочных процессов на земную поверхность и несущие конструкции зданий и сооружений горнопромышленных территорий [12–14], разработке методов и технологий, обеспечивающих эксплуатационную надежность объектов в условиях просадочных оснований [15], а также разработке новых методов исследования НДС грунтовых массивов [16, 17] и изучению свойств новых строительных материалов и конструкций [18–20] для строительства в сложных инженерно-геологических условиях и др.

Целью настоящей статьи является изучение закономерностей НДС грунтового массива, являющегося одновременно основанием надшахтного здания и вмещающего устье вертикального главного ствола с примыкающим вентиляционным каналом. Для изучения изменения НДС при взаимном влиянии ствола и надшахтного здания используем математическое моделирование с применением метода конечных элементов.

Материалы и методы. Для исследований использованы методики расчетов металлических и железобетонных конструкций, применяемые в строительной механике, и методы математического моделирования с использованием программно-вычислительных комплексов SCAD и «Лира-Софт 10.10».

Цель расчета — определение параметров НДС грунтового массива во взаимодействии с устьем ствола, вентиляционным каналом и надшахтным зданием.

Исходными данными являются:

1. Численная модель надшахтного здания главного вертикального ствола, созданная в программном комплексе SCAD.

2. Результаты инженерно-геологических изысканий на промплощадке рудника, расположенного в Забайкальском крае.

3. Проект устройства грунтовых свай по методу проф. Б. Ф. Галая [13], используемых для усиления основания плитного фундамента надшахтного здания. Блок-схема исследования представлена на рис. 1.

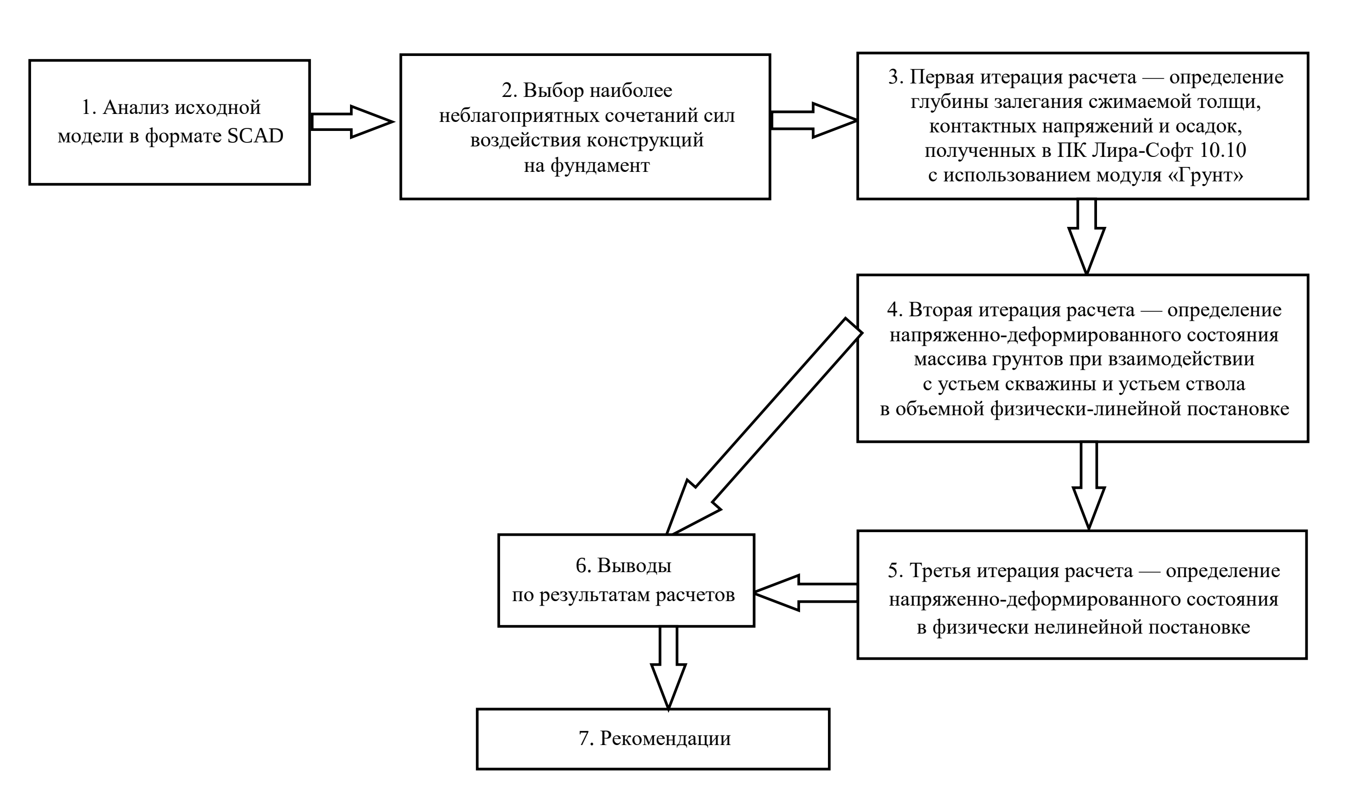


Рис. 1. Блок-схема проведения исследования (рисунок авторов)

Большое количество эксплуатационных нагрузок, передаваемых на несущие конструкции надшахтного здания главного ствола, обусловлено сложностью технологических процессов горного производства (работа шахтного подъема, загрузка полезного ископаемого из скипов в бункер, разгрузка из бункера в рельсовый

транспорт, движение и торможение транспорта, подвесных кранов и др.). Проведенный анализ показал, что в численных моделях (рис. 2), созданных в программном комплексе SCAD, количество возможных загружений равно 153. Принято решение выполнить расчет по расчетным сочетаниям усилий (РСУ) для определения наиболее невыгодных сочетаний (наибольших вертикальных сжимающих сил в базах колонн).

При определении неблагоприятных сочетаний усилий задавались нагрузки:

– постоянные — от собственного веса копра и отдельных конструкций здания;

– длительные — от веса оборудования, руды в бункере, платформ, вагонов и т.д.;

– кратковременные (снеговая, ветровая нагрузки с учетом пульсации ветра, вес людей и ремонтных материалов в зоне обслуживания);

– крановые (от движения и торможения подвесных и мостовых кранов);

– особые (сейсмические, аварийные) и др.

Расчет в ПК «Лира-Софт 10.10» выполнен с применением модуля «Грунт» для определения глубины сжимаемой толщи, контактных напряжений и осадки. Экспорт данных в ПК «Лира-Софт 10.10» (релиз R2) реализован через файл нейтрального формата системы FEMAP (*.neu).

Визуализация расчетной схемы надшахтного здания главного ствола рудника приведена на рис. 3. Результаты расчета параметров НДС с применением модуля «Грунт» для наиболее неблагоприятных сочетаний усилий представлены в виде изополей контактных напряжений (Rz) — на рис. 4; осадки (вертикальных перемещений) — на рис. 5; глубин сжимаемой толщи — на рис. 6; усредненного модуля деформации — на рис. 7; усредненного коэффициента Пуассона — на рис. 8; коэффициентов постели C_{1z} — на рис. 9.

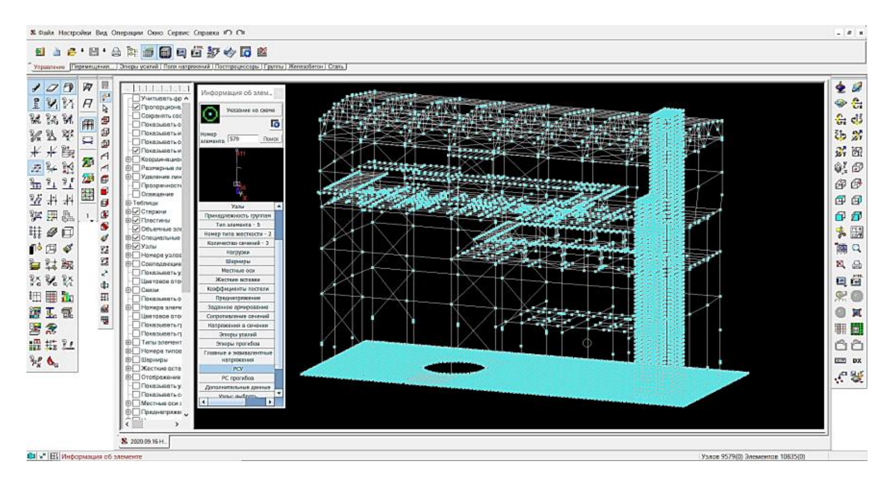


Рис. 2. Расчетная 3D-модель надшахтного здания ствола в ПК SCAD (рисунок авторов)

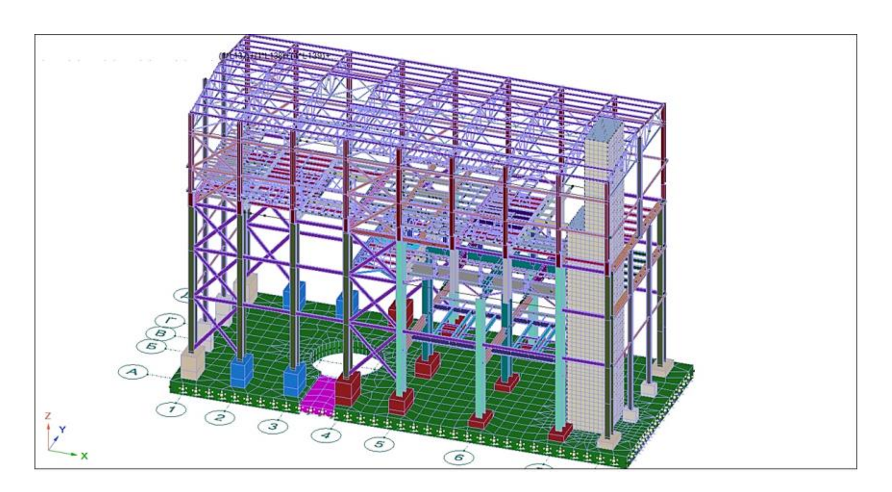


Рис. 3. Визуализация расчетной схемы надшахтного здания главного ствола рудника (рисунок авторов)

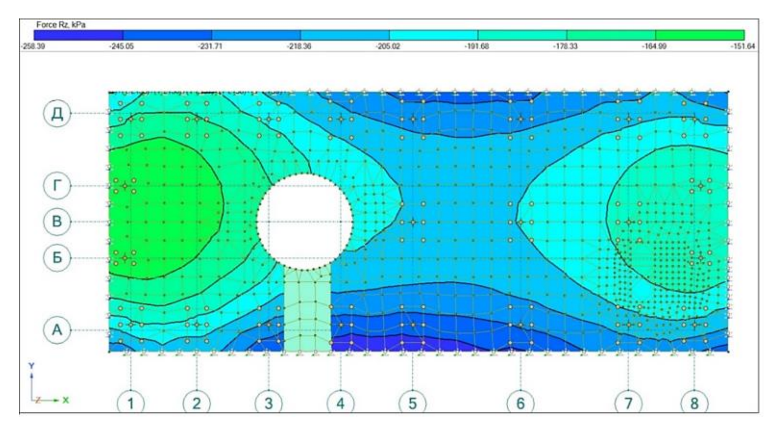


Рис. 4. Изополя контактных напряжений (усилий Rz) (рисунок авторов)

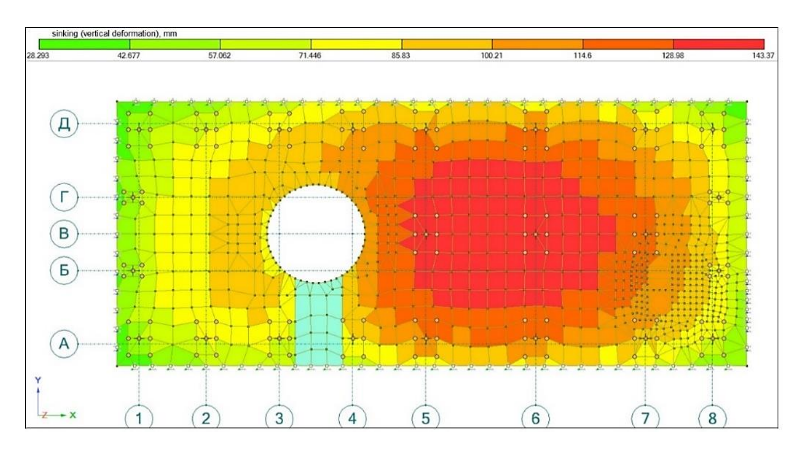


Рис. 5. Изополя осадки (вертикальных перемещений), мм (рисунок авторов)

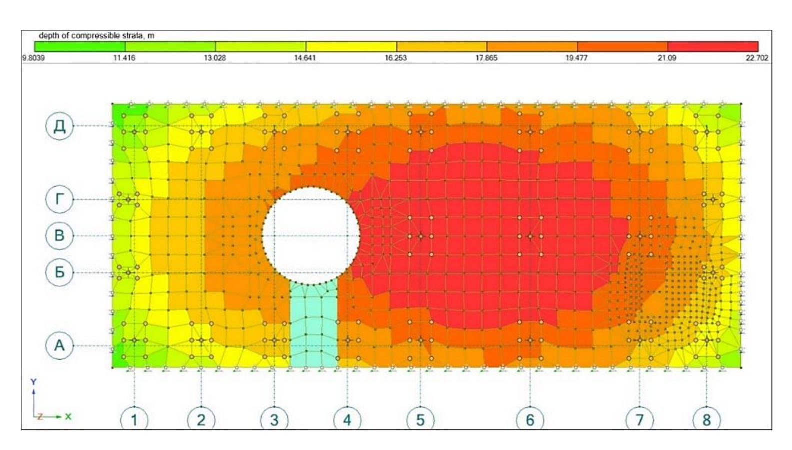


Рис. 6. Изополя глубин сжимаемой толщи, м (рисунок авторов)

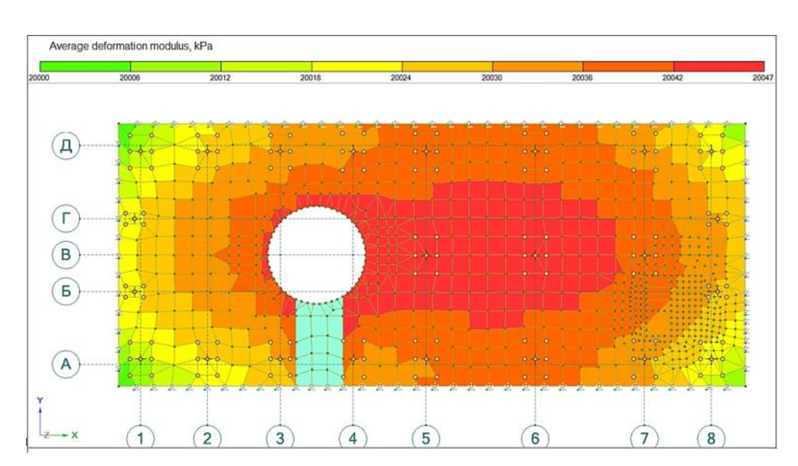


Рис. 7. Изополя усредненного модуля деформации, кПа (рисунок авторов)

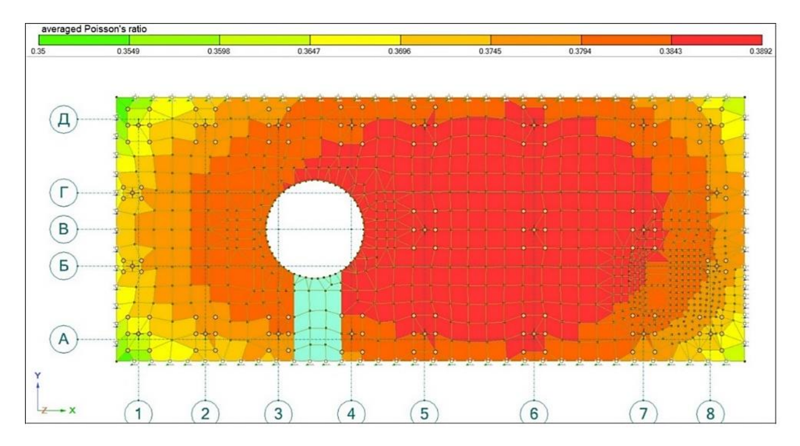


Рис. 8. Изополя усредненного коэффициента Пуассона (рисунок авторов)

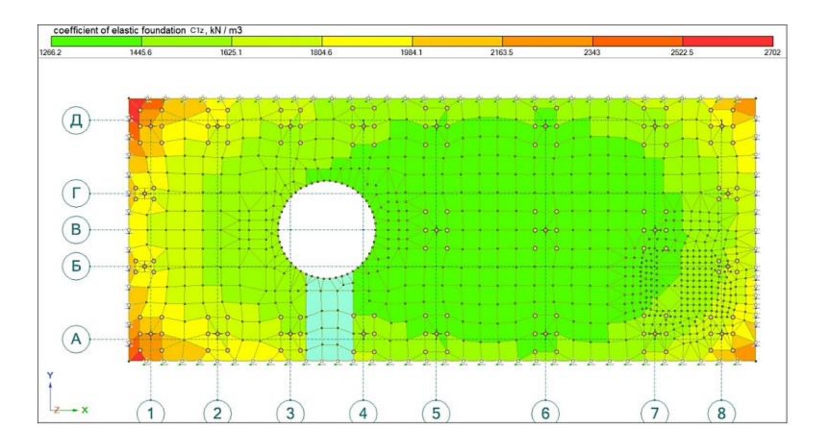


Рис. 9. Изополя коэффициентов постели C1z (рисунок авторов)

Результаты исследования. После первой итерации расчета – определения глубины сжимаемой толщи, контактных напряжений и осадок, полученных в ПК «Лира-Софт 10.10» с применением модуля «Грунт», была разработана трехмерная модель грунтового массива, усиленного грунтовыми сваями по методу проф. Б. Ф. Галая (Способ возведения буронабивной сваи: патент 2135691 РФ), во взаимодействии с крепью устья ствола, вентиляционного канала и надшахтного здания (рис. 10).

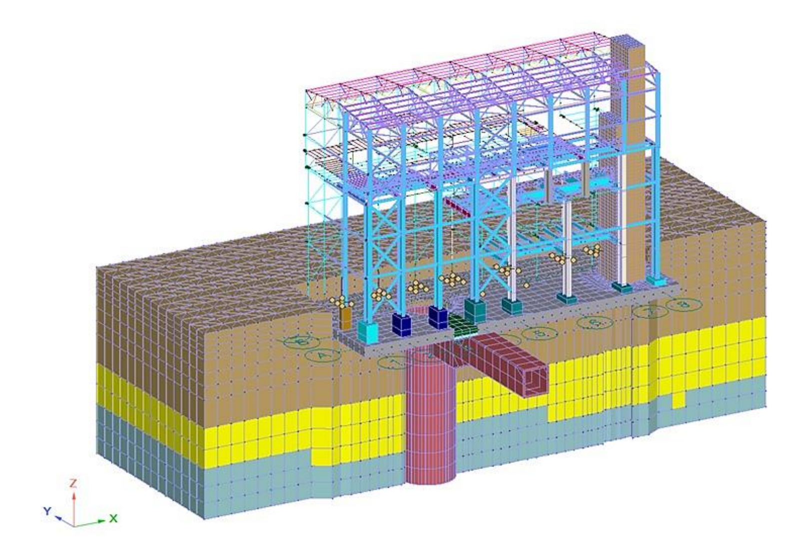


Рис. 10. Визуализация пространственной модели грунта во взаимодействии с надшахтным зданием, крепью устья главного ствола и вентиляционного канала (рисунок авторов)

Свойства грунтового массива приняты по данным инженерно-геологических изысканий на площадке с учетом усиления верхней толщи просадочных суглинков грунтовыми буронабивными сваями. Модель массива учитывает мощность и залегание (падение и простирание) каждого слоя грунта. Характеристики каждого выделенного инженерно-геологического элемента, использованные при разработке модели, приведены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики грунтов

№ ИГЭ	Наименование грунта	Цвет (рис. 10)	Модуль деформации E, кПа	Коэффициент Пуассона	Удельный вес ρ_{II}, кН/м^3	Природная влажность w	Показатель текучести I_L	Коэффициент пористости e	Число пластичности I_p	Удельное сцепление c_{II}, кПа	Угол внутреннего трения φ_{II} °
	Дресвяный грунт с суглинистым заполнителем		36000	0,27	18,6	0,12	-0,58	0,64	12,8	4	29
	Суглинок уплотненный тугопластичный		20000	0,35	17	0,175	-0,45	0,686	12	20	20
	Глина лёгкая твёрдая		20100	0,42	17,8	0,232	-0,01	0,88	20,6	13	26

При действии наиболее неблагоприятного сочетания усилия определены параметры НДС системы «усиленный грунтовый массив — крепь устья ствола и вентиляционного канала — надшахтное здание». Вертикальные деформации указанной системы представлены на рис. 11.

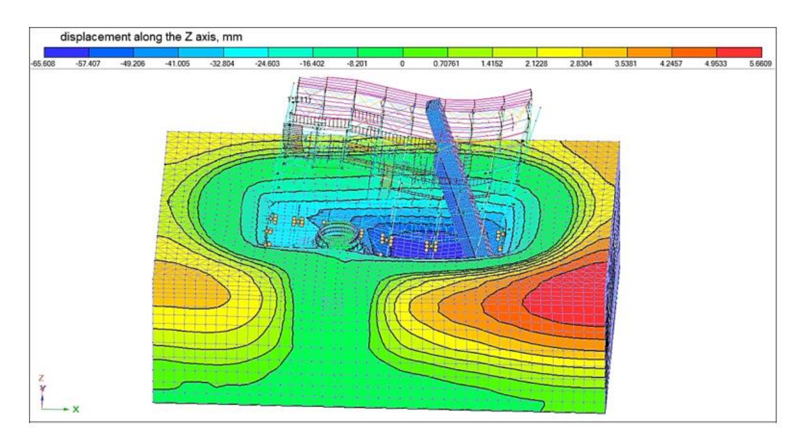


Рис. 11. Перемещение по оси Z (3D-вид) (рисунок авторов)

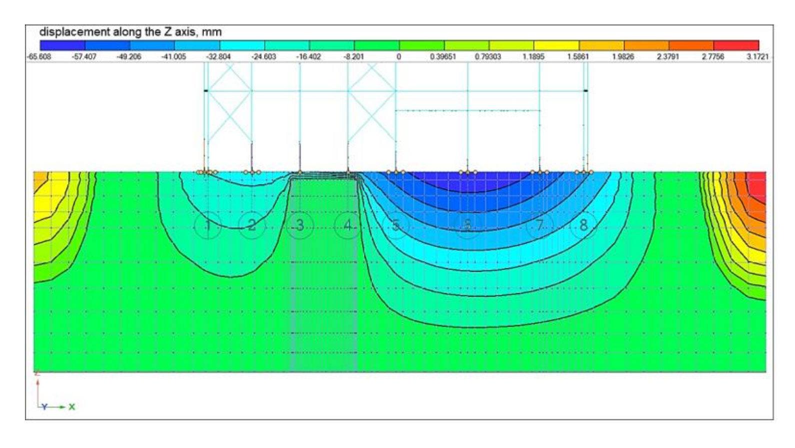


Рис. 12. Перемещение по оси Z (продольный разрез по оси ствола) (рисунок авторов)

Обсуждение и заключения. По результатам исследования сделаны следующие выводы:

1. Фундаментная плита надшахтного здания на усиленном грунтовом основании испытывает сложный комплекс постоянных, долговременных, кратковременных, крановых и особых нагрузок с большим количеством их возможных сочетаний. Наземные несущие конструкции, фундаменты и грунтовое основание должны рассчитываться с учетом взаимного влияния с вертикальным стволом и примыкающим к нему вентиляционным каналом, исходя из определения параметров НДС.

2. Монолитная бетонная крепь устья оказывает существенное влияние на НДС фундаментной плиты, повышая жесткость в местах контакта плиты с крепью. Минимальная вертикальная осадка плиты наблюдается над крепью устья ствола, максимальная – в центральной части здания (ось 6), в местах приложения максимальной нагрузки.

3. Вследствие неоднородной жесткости основания и неравномерности распределения нагрузок по площади плиты возникает разность осадок, которая для несущих конструкций и лифтовых шахт может стать критической. Поэтому очень важно оценить на трехмерных моделях совместные деформации грунтового основания, фундаментной плиты, конструкций надшахтного здания, крепи ствола и вентиляционного канала, в результате чего определить максимальные крены и относительные разности осадок, которые необходимо сравнить с допустимыми по СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений».

4. Для оценки несущей способности основания необходимо оценить его расчетное сопротивление до и после усиления и сравнить с расчетными напряжениями под подошвой фундаментов. В рассматриваемом примере максимальные краевые напряжения по подошве фундамента, равные 258 кПа, не превышают расчетного сопротивления усиленного грунтового основания, равного 752 кПа.

5. Важным является и абсолютное значение максимальной осадки, которое может быть определено как в результате моделирования, так и с помощью пакетов прикладных программ, реализующих нормативные методики расчета. В рассматриваемом примере осадка плит не превышает предельно допустимого значения, равного 150 мм. Осадка фундаментных плит надшахтных зданий главного и вспомогательного стволов равна (143+28)/2 = 85,5 мм и (133+28)/2 мм = 80,5 мм соответственно. Поверочный расчет осадки плит методом линейно-деформируемого слоя, выполненный в ПК «Фундамент 14.2» показал, что деформация основания составит 90 мм.

6. Результаты моделирования и расчета осадки во многом зависят от корректности выбора свойств грунтового массива и закона их деформирования. Линейный расчет в пространственной постановке показал значения осадки около 66 мм. При физически нелинейном расчете деформация получила некоторое приращение (около 6 %) и составила 70 мм, что коррелирует с расчетом методом линейно-деформируемого слоя.

Полученные величины приведены в таблице 2.

Таблица 2

Величина осадки, мм, полученная различными методами

№ ствола	Осадка, мм, при расчете методом			
	Модуль «Грунт»	ПК «Фундамент 14.2» (метод линейно деформируемого слоя)	Моделирование в объемной линейной постановке	Моделирование в объемной нелинейной постановке
1	85,5	90	66,5	69,6
2	80,5	90	65,6	69,9

7. Глубина сжимаемой толщи для сооружения также изменяется для различных участков фундаментной плиты и при расчете осадки принимается ее максимальное значение, равное для 1-го и 2-го стволов соответственно 22,7 м и 22,5 м. Данные параметры использованы при расчетах в пространственной постановке.

8. В результате моделирования и расчетов НДС подобраны такие параметры фундаментной плиты, усиленного основания и крепи, для которых напряжения, возникающие в крепи устьев вертикальных стволов и крепи вентиляционного канала, не превышают расчетного сопротивления бетона на сжатие, т.е. крепь стволов и вентиляционного канала сохранит работоспособность при действии наиболее неблагоприятных сочетаний нагрузок на надшахтные здания.

Библиографический список

1. Bulychev, N. S. Analytical design method for vertical shaft lining / N. S. Bulychev // Archives of Mining Sciences. — 2008. — 53 (3). — Pp. 371–382.

2. Bulychev, N. S. The theory of underground structures design has gained strength / N. S. Bulychev, N. N. Fotieva, P. V. Deev // Harmonising Rock Engineering and the Environment — Proceedings of the 12th ISRM International Congress on Rock Mechanics. — 2012. — Pp. 2031–2035.

3. Non-standard equipment for construction of vertical shafts / F. I. Yagodkin, A. Y. Prokopov, M. S. Pleshko, A. N. Pankratenko // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — 2017. — 87 (6). — 062014.

4. Yagodkin, F. Perspective Schemes Equipment Ultra-deep Shafts / F. Yagodkin, M. Pleshko, A. Prokopov // Procedia Engineering. — 2017. — 206. — Pp. 293–298.

5. Concrete activation in disintegrator during mine shaft fixing / S. G. Stradanchenko, S. A. Maslennikov, E. V. Shevchenko, V. I. Golik, Y. I. Razorenov // Journal of Engineering and Applied Sciences. — 2016. — 11(6). — Pp. 1191–1195.

6. Improvement of the analysis and calculation methods of mine shaft design / M. S. Pleshko, Yu. A. Sil'chenko, A. N. Pankratenko, A. A. Nasonov // Mining Informational and Analytical Bulletin. — 2019. — 2019 (12). — Pp. 55–66.

7. Pankratenko, A. Analytical analysis of the stress-strain state of the system mechanized equipment complex – Support – Rock mass in the bottomhole area of the shaft / A. Pankratenko, M. Pleshko, A. Isaev // MATEC Web of Conferences. — 2018. — 193. — 02026.

8. Pleshko, M. Assessment of the technical condition of deep mine shafts / M. Pleshko, E. Kulikova, A. Nasonov // MATEC Web of Conferences. — 2018. — 239. — 01021.

9. New technology of underground structures the framework of restrained urban conditions / M. Pleshko, A. Pankratenko, A. Revyakin [et al] // E3S Web of Conferences. — 2018. Vol. 33. https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183302036

10. Efimova, N. D. Studies of the volume expansion of concrete mix for lining vertical shafts of mines / N. D. Efimova, N. D. Barsuk, S. V. Borschevsky // Topical Issues of Rational Use of Natural Resources 2019 : 15th, St. Petersburg, 2019. — Vol. 1. — 488 p. https://doi.org/10.1201/9781003014577

11. Савин, И. И. Экспериментально-аналитический подход к расчету крепи вертикальных шахтных стволов / И. И. Савин // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. — 2009. — № 1. — С. 251–258.

12. Prokopov, A. Computer Modeling of Deformation Processes in the Event of Liquidation of a Dip over a Rock Mine / A. Prokopov, M. Prokopova, N. Hamidullina // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — 2019. — 272 (2). — 022118. 10.1088/1755-1315/272/2/022118

13. Prokopov, A. Application of the cartographic method of research for the detection of the dangerous zones of mining industrial territories / A. Prokopov, V. Zhur, A. Medvedev // MATEC Web of Conferences (XXVII R-S-P Seminar, Theoretical Foundation of Civil Engineering). — 2018. Vol. 196. — 03009. https://doi.org/10.1051/matecconf/201819603009

14. Prokopov, A. The experience of strengthening subsidence of the soil under the existing building in the city of Rostov-on-Don / A. Prokopov, M. Prokopova, Ya. Rubtsova // MATEC Web of Conferences (International Science Conference SPbWOSCE «SMART City»). — 2017. Vol. 106. — 02001. https://doi.org/10.1051/matecconf/201710602001

15. Galay, B. F. Disadvantages of standards for construction on collapsible soils / B. F. Galay, V. V. Serbin, O. B. Galay // Geotechnics Fundamentals and Applications in Construction : New Materials, Structures, Technologies and Calculations: Proceedings of the International Conference on Geotechnics Fundamentals and Applications in Construction: New Materials, Structures, Technologies and Calculations, GFAC 2019, Saint Petersburg, 2019 February, 06–08. — Saint Petersburg: Taylor & Francis Group, 2019. — P. 69–73. https://doi.org/10.1201/9780429058882-14

16. Methods of evaluation of geometrical and stress-strain properties of a geocomposite / A. A. Kruglikov, A. A. Vasilchenko, Ya. M. Ermolov, M. V. [et al] // 15th Conference and Exhibition Engineering and Mining Geophysics 2019. Vol. 2019. — P. 1–7. https://doi.org/10.3997/2214-4609.201901744

17. Прокопов, А. Ю. Математическое моделирование взаимовлияния автодорожного тоннельного комплекса № 6-6а и действующего железнодорожного тоннеля № 5 в г. Сочи / А. Ю. Прокопов, М. В. Прокопова, М. А. Ротенберг // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2013. — № S7. — С. 101–109.

18. Application of the finite element method in construction of the retaining structures on landslide-prone slopes / A. A. Kruglikov, G. I. Lazorenko, Y. M. Ermolov, V. A. Yavna // Geophysics 2015 — 11th EAGE International Scientific and Practical Conference and Exhibition on Engineering and Mining Geophysics. — 2015. Vol. 2015. — 00031. — https://doi.org/10.3997/2214-4609.201412251

19. Nesvetaev, G. About frost resistance of the contact zone of dry adhesive mixes classes C1 and C2 / G. Nesvetaev, A. Dolgova, A. Revyakin // E3S Web of Conferences. — 2020 — Vol. 157. — 06027. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015706027

20. Effect of dosage of redispersible powders on the properties of fine concrete / G. V. Nesvetaev, A.V. Dolgova, L. V. Postoj [ea al] // Materials Science Forum. — 2020. — T. 974 MSF. — C. 413–418. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.974.413

Поступила в редакцию 21.11.2022

Поступила после рецензирования 25.11.2022

Принята к публикации 30.11.2022

Об авторах:

Прокопов Альберт Юрьевич — заведующий кафедрой «Инженерная геология, основания и фундаменты» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, профессор, ScopusID, ResearcherID, ORCID, prokopov72@rambler.ru

Акопян Владимир Феликсович — доцент кафедры «Инженерная геология, основания и фундаменты» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, ScopusID, ORCID, vovaakop@mail.ru

Шевченко Роман Юрьевич — магистрант кафедры «Инженерная геология, основания и фундаменты» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), roma.shevchenko.1999.2908@mail.ru

Заявленный вклад соавторов:

А. Ю. Прокопов — формирование основной концепции, анализ проблем строительства и эксплуатации надшахтных зданий в сложных инженерно-геологических условиях, обработка результатов моделирования, формулировка выводов. В. Ф. Акопян — разработка математических моделей, выполнение расчетного обоснования, визуализация расчетных схем. Р. Ю. Шевченко — обзор источников литературы, оформление графических материалов для статьи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.